

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
27. Dezember 2002 (27.12.2002)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 02/102262 A1

(51) Internationale Patentklassifikation⁷: A61B 18/00

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP02/06151

(22) Internationales Anmeldedatum:
5. Juni 2002 (05.06.2002)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
101 29 650.9 15. Juni 2001 (15.06.2001) DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme
von US): CARL ZEISS MEDITEC AG [DE/DE];
Göschwitzer Str. 51-52, 07745 Jena (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): DICK, Manfred

[DE/DE]; Birkenweg 9, 07926 Gefell (DE). **ELBRECHT, Jens** [DE/DE]; Platanenstrasse 6, 07747 Jena (DE). **SCHRÖDER, Eckhard** [DE/DE]; Hans-Sachs-Strasse 9, 90542 Eckental (DE). **SEITZ, Bernhard** [DE/DE]; Wilhelm-Raabe-Weg 22, 07751 Jena-Wogau (DE).

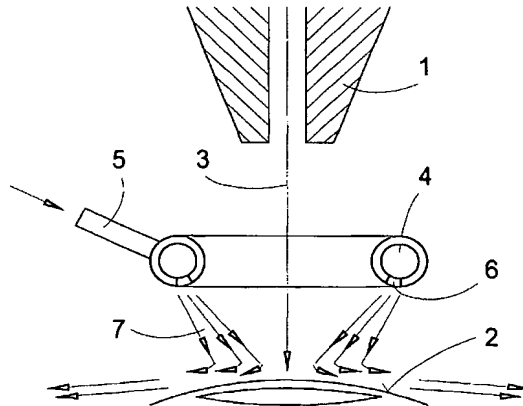
(74) Anwälte: **NIESTROY, Manfred**; Geyer, Fehners & Partner (G.b.R.), Sellierstrasse 1, 07745 Jena usw. (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (national): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DK, DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NO, NZ, OM, PH, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG, SI, SK, SL, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: METHOD AND SYSTEM FOR THE REMOVAL OF MATERIAL

(54) Bezeichnung: VERFAHREN UND ANORDNUNG ZUM MATERIALABTRAG



(57) Abstract: The invention relates to a method and to a corresponding system for removing material using laser radiation. The aim of the invention is to keep the laser beam cross-section free from contaminations and to ensure constant climatic ambience conditions at the site of removal during the removal process. The inventive method and system is characterized in that the temperature and/or the humidity at the site of removal is maintained substantially constant by means of a gas that is allowed to flow across the site of removal in a predetermined direction. In different embodiments of the invention the gas has constant or varying temperatures, humidities and flow speeds during the removal process. The inventive system for carrying out the method is characterized by a tubular channel (1) through whose end a laser beam (3) is incident on the surface of an object (2) and removes material. A warm air current (7) having a defined humidity is emitted from outlet openings (6) of a flow channel (4) that is linked with a conveyor means via a connecting sleeve (5) and is directed onto the site of removal.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]



(84) **Bestimmungsstaaten** (*regional*): ARIPO-Patent (GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), curasisches Patent (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches Patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, TR), OAPI-Patent (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

— mit internationalem Recherchenbericht

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren und eine zugehörige Anordnung zum Abtragen von Material mit Hilfe von Laserstrahlung. Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, sowohl den Laserstrahlquerschnitt von Verunreinigungen freizuhalten als auch konstant klimatische Umgebungsbedingungen am Abtragungsort während des Abtragungsprozesses zu gewährleisten. Erfindungsgemäss wird die Temperatur und/oder die Feuchtigkeit am Abtragungsort mittels eines in vorgegebener Richtung über den Abtragungsort hinweg strömenden Gases im wesentlichen konstant gehalten. Das Gas hat dabei in unterschiedlichen Ausgestaltungen der Erfindung während des Abtragungsprozesses konstante oder variierende Temperaturen, Feuchtigkeitswerte und Strömungsgeschwindigkeiten. Eine Anordnung zur Ausübung des Verfahrens weist einen röhrenförmigen Kanal (1) auf, durch dessen Ende hindurch ein Laserstrahl (3) auf eine die Oberfläche eines Gegenstandes (2) trifft und dort Material abträgt. Dabei ist aus Austrittsöffnungen (6) eines Strömungskanals (4), der über einen Anschlussstutzen (5) mit einer Fördereinrichtung verbunden ist, eine temperierte Luftströmung (7) mit definierter Feuchte auf den Abtragungsort gerichtet.

5

10 **Titel**

Verfahren und Anordnung zum Materialabtrag

Gebiet der Erfindung

- 15 Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren und eine zugehörige Anordnung zum Abtragen von Material mit Hilfe von Laserstrahlung.

Stand der Technik

- 20 Verfahren und Anordnungen zum Abtragen von Material von der Oberfläche eines Gegenstandes mit Hilfe eines Laserstrahles, der auf die Oberfläche gerichtet ist, sind an sich bekannt. Darunter auch Verfahren und Anordnungen, bei denen der Laserstrahl scannend über die Oberfläche geführt und das Material dabei definiert abgetragen und dabei die Geometrie des Gegenstandes gezielt verändert wird.

25

- Dabei kommt es insbesondere bei weichen, temperaturempfindlichen Materialien darauf an, die Laserenergie ohne wesentliche thermische Schädigung des Gebietes um den Abtragungsort einzubringen. Dies ist insbesondere dann von Bedeutung, wenn das abzutragende Material stark feuchtigkeitshaltig ist und eine Austrocknung des Materials infolge des Energieeintrages verhindert werden soll, um zu vermeiden, daß sich die Materialeigenschaften oder auch die Bedingungen für den Materialabtrag, wie etwa die Abtragungsgeschwindigkeit, während des Abtragungsprozesses in unerwünschter Weise verändern.

- 35 Das ist beispielsweise der Fall, wenn die Oberflächenkrümmung einer künstlichen Kontaktlinse verstärkt oder verringert werden soll mit dem Ziel, die Sehkraft eines menschlichen Auges mit dieser Kontaktlinse zu korrigieren. Aber auch bei der Bear-

- 2 -

beutung von totem oder lebendem biologischem Gewebe wie Knorpel, Zahnhartgewebe oder auch in der Augenchirurgie bei der Formung der Hornhaut (photorefraktive Keratektomie) kommt es nicht nur auf Sorgfalt bei der Formgebung, sondern auch darauf an, die Eigenschaften des verbleibenden Materials beizubehalten.

5

Von besonderer Bedeutung für einen definierten Materialabtrag bei den vorgenannten Anwendungen ist die Konstanzhaltung der klimatischen Bedingungen in der Umgebung des Abtragungsortes über die Dauer des Materialabtrages hinweg, die vor allem bestimmt sind von der Temperatur und der Feuchtigkeit an der Materialoberfläche bzw. in deren unmittelbarer Nähe.

10

Von weiterer Bedeutung für den definierten Materialabtrag ist aber auch die Kontinuität des Energieeintrages in das Material. Da die Laserstrahlung auf dem Weg zwischen einer Abstrahlungsoptik und dem Abtragungsort die freie Atmosphäre oder gegebenenfalls auch ein Schutzgas durchquert, ist es möglich, daß die bei der Abtragung des Materials entstehenden Abprodukte, wie Rauch oder Materialpartikel, die Atmosphäre in unmittelbarer Nähe des Abtragungsortes beeinträchtigen und dabei auch, indem sie den Laserstrahl durchqueren, die Intensität der Laserstrahlung in undefinierbarer Weise schwächen.

20

Aus US 5,344, 418 ist eine Anordnung bekannt, bei der nahe der Austrittsöffnung für den Laserstrahl aus einem Gerät zur Materialabtragung Strömungskanäle vorgesehen sind, aus denen während des Materialabtrages ein Gas- bzw. Luftstrom auf den Abtragungsort gerichtet ist, womit erreicht wird, daß Rauch und Materialpartikel vom Abtragungsort weggeblasen werden. Nachteilig dabei ist allerdings, daß der Gas- bzw. Luftstrom die Materialoberfläche am Abtragungsort überstreicht, was zur Folge hat, daß sowohl ein auf der Oberfläche vorhandener Feuchtigkeitsfilm zerstört und damit dessen Schutzfunktion aufgehoben wird als auch insbesondere innerhalb von feuchtehaltigem, stark hygroskopischem Material eine Austrocknung in unzulässigem Maße erfolgt bzw. die Hydratationszustände im Material während des Abtrages einer unerwünschten Beeinflussung unterworfen sind.

25

30

Bei einer in US 5,181,916 beschriebenen Einrichtung werden die Verunreinigungen wie Rauch oder Materialpartikel nicht weggeblasen, sondern mit Hilfe eines Gasstromes abgesaugt. Zu diesem Zweck ist eine Ansaugöffnung konzentrisch um eine Mündungsöffnung eines Gerätes angeordnet, aus dem der Laserstrahl austritt und auf den Abtragungsort gerichtet ist. Doch auch hier hat das über den Behand-

35

lungsort strömende Gas zur Folge, daß sowohl die Feuchte an der Materialoberfläche abtransportiert wird als auch das Material zumindest nahe dem Abtragungsort austrocknet.

- 5 In DE 100 20 522 A1 ist eine Anordnung zur Absaugung von Abprodukten bei der Ablation von biologischem Gewebe beschrieben. Hier ist der Laserstrahl durch einen röhrenförmigen Kanal hindurch auf das Gewebe gerichtet und die Abprodukte werden in den Kanal hinein abgesaugt. Es wird innerhalb des Kanals ein gegenläufig zur Laserstrahlung gerichteter Luftstrom erzeugt, wobei die abgesaugte Luft nicht aus
10 der Umgebung des Abtragungsortes kommt, sondern aus Zuführöffnungen strömt, die nahe der Mündungsöffnung im Kanal vorhanden sind. Das hat zur Folge, daß die Materialoberfläche nicht vom Luftstrom überstrichen und so die Austrocknung vermieden wird. Außerdem ist der Luftstrom vom Zentrum des Kanals, in dem der Laserstrahl verläuft, radial nach außen gerichtet, so daß Rauch und Materialpartikel
15 vom Zentrum und damit vom Laserstrahl ferngehalten werden und somit verhindert wird, daß die Intensität der Laserstrahlung durch derartige Verunreinigungen in unerwünschter Weise beeinflusst wird.

- Allerdings gelingt es auch hiermit noch nicht, die Materialabtragung mit Laserenergie, insbesondere im Hinblick auf die Feinbearbeitung von Oberflächen, von allen
20 Umgebungseinflüssen freizuhalten. Die Abtragsbedingungen werden trotz der vorstehend genannten Maßnahmen immer noch durch sich während des Abtragsvorganges verändernde Temperatur und Luftfeuchte am Abtragungsort beeinflusst. Um eine höhere Genauigkeit bei der Formgebung durch Materialabtrag erzielen zu können, besteht nach wie vor das Bedürfnis, derartige Einflüsse zu reduzieren.
25

Beschreibung der Erfindung

- 30 Davon ausgehend liegt der Erfindung die Aufgabe zugrunde, unter Beibehaltung oder auch Verbesserung der bereits bekannten Maßnahmen zur Freihaltung des Laserstrahlquerschnitts von Verunreinigungen auch die klimatischen Umgebungsbedingungen am Abtragungsort über die gesamte Zeit des Abtragsprozesses hinweg konstant zu halten.

- 35 Erfindungsgemäß wird bei einem Verfahren der eingangs genannten Art die Temperatur und/oder die Feuchtigkeit am Abtragungsort und/oder in dessen unmittelba-

rer Nähe mittels eines während der Dauer des Abtragungsprozesses in vorgegebener Richtung über den Abtragungsort hinweg strömenden Gases im wesentlichen konstant gehalten. Das Gas hat dabei eine vorgegebene Temperatur, einen vorgegebenen Feuchtigkeitsgehalt und/oder eine vorgegebene Strömungsgeschwindigkeit.
5 keit.

Bei einer ersten Ausgestaltung der Erfindung wird während der gesamten Dauer des Abtragungsprozesses ein Luftstrom mit konstanter Temperatur, konstantem Feuchtigkeitsgehalt und konstanter Strömungsgeschwindigkeit über den Abtragungsort
10 hinweg geführt.

Damit wird unter Nutzung der Luft als Transportmedium bei entsprechend vorgewählter, unter der Solltemperatur am Abtragungsort liegender Temperatur der auf den Abtragungsort gerichteten Luft überschüssige Wärmeenergie abtransportiert.
15 Umgekehrt hat die auf den Abtragungsort gerichtete Luft eine verhältnismäßig hohe relative Feuchte, so daß die Zufuhr von Feuchtigkeit gewährleistet ist und der Austrocknung an der Materialoberfläche und innerhalb des Materials entgegengewirkt wird. Beispielsweise kann der Luftstrom mit einer Temperatur von 37° und einer relativen Luftfeuchte von 100% bei einer Strömungsgeschwindigkeit von etwa
20 0,5m/s zum Abtragungsort gerichtet werden.

In Abhängigkeit von den Eigenschaften des zu bearbeitenden Materials kann es sich als günstig erweisen, wenn der Luftstrom mit einer Temperatur im Bereich von -20°C bis 30°C, einer relativen Luftfeuchte im Bereich von 0-100% und einer
25 Strömungsgeschwindigkeit im Bereich von 1 m/s bis 10 m/s über den Abtragungsort hinweggeführt wird. Eine häufig bevorzugte Variante besteht darin, Luft einer Temperatur von -8°C und einer relativen Feuchte von 80 % mit ca. 3m/s über den Abtragungsort hinwegzuführen.

Damit gelingt es, die klimatischen Bedingungen während der Abtragung in verhältnismäßig engen Grenzen konstant zu halten. Wird beispielsweise während des Abtragungsprozesses eine Leistung von ca. 0,5 Watt scannend kontinuierlich in das Material eingetragen, wird zwar der überwiegende Teil dieser Leistung für die Ablation verbraucht, jedoch wird ein nicht unerheblicher Leistungsanteil in thermische
30 Energie umgewandelt, die aber nach dem erfindungsgemäßen Verfahren weitestgehend abtransportiert wird, so daß wie bereits beschrieben das stationäre Gleichgewicht im wesentlichen erhalten bleibt.
35

Im Rahmen der Erfindung liegt es weiterhin, wenn die Strömungsgeschwindigkeit und die Fördermenge des Luftstrom in Abhängigkeit von der Impulsfolgefrequenz der zur Ablation genutzten Laserstrahlung so vorgegeben wird, daß das während einer Impulsfolge ablatierte Gewebe innerhalb des Zeitraumes, der bis zum Beginn der nachfolgenden Impulsfolge vergeht, mit dem Luftstrom abtransportiert werden kann. Dies ist bei einer Impulsfolgefrequenz von 1 kHz und einer am Abtragungsort bearbeiteten Flächengröße von beispielsweise 8 mm² mit einer Strömungsgeschwindigkeit von ca. 8m/s möglich, wobei die Luftmenge etwa 40 cm³/s betragen sollte. Hierbei kann ein Schlauch mit etwa 8 mm Durchmesser genutzt werden.

In einer bevorzugten Ausgestaltung der Erfindung ist vorgesehen, daß ein Luftstrom mit konstanter Temperatur und konstantem Feuchtigkeitsgehalt, jedoch mit während der Dauer des Abtragungsprozesses zunehmender Strömungsgeschwindigkeit über den Abtragungsort hinweg geführt wird. Auch hierbei kann der Luftstrom beispielsweise eine Temperatur von 37° und eine relative Luftfeuchte von etwa 100% haben, wobei jedoch zu Beginn der Abtragung die Strömungsgeschwindigkeit ca. 0,2m/s beträgt und über die Dauer der Abtragung hinweg bis zu 10m/s erhöht wird. Auf diese Weise gelingt es, auch bei Energieeinträgen mit höheren Leistungswerten die überschüssige thermische Energie abzuführen.

Im Rahmen der Erfindung liegt es auch, den Luftstrom mit konstanter Strömungsgeschwindigkeit über den Abtragungsort hinweg zuführen, dagegen aber während des Abtragungsprozesses die Temperatur der strömenden Luft zu verringern und/oder ihre relative Feuchte zu erhöhen. Diesbezüglich kann beispielsweise vorgesehen sein, daß die Strömungsgeschwindigkeit der Luft über den gesamten Abtragungsprozeß hinweg 0,5m/s beträgt, während die Lufttemperatur innerhalb eines Bereiches von etwa 42°C zu Anfang bis zu etwa 10°C bei Ende des Abtragungsprozesses verändert wird und die Luftfeuchte von etwa 80% zu Anfang bis auf 100% bei Ende des Abtragungsprozesses verändert wird. Damit werden noch bessere Ergebnisse bei der Einstellung eines Temperatur- und Feuchtigkeitsgleichgewichtes zwischen Material und der klimatisierten Umgebung an der Materialoberfläche erzielt als bei konstanten Temperatur- und Feuchtwerten, wodurch sich weiterhin verbesserte reproduzierbare Bedingungen bei Formgebung ergeben.

In diesbezüglichen Ausgestaltungsvarianten ist es möglich, die Veränderungen von Temperatur und/oder Luftfeuchte während des Abtragungsprozesses sowohl konti-

nuierlich als auch anhand vorgegebener, diskontinuierlicher Zeitplan-Funktionen vorzunehmen.

Alternativ hierzu ist es auch denkbar, die Veränderung der Temperatur, der relativen Feuchte und/oder der Strömungsgeschwindigkeit der Luft in Abhängigkeit von
5 Temperatur- und/oder Feuchtigkeitswerten vorzunehmen, die während des Abtragungsprozesses unmittelbar am oder nahe dem Abtragungsort wiederholt gemessen, ausgewertet und als Führungsgrößen für vorzunehmende Veränderungen des Luftstrom genutzt werden. So liefert beispielsweise eine kontinuierliche Messung
10 von Temperatur und Feuchtigkeit am Abtragungsort Informationen, die dazu genutzt werden können, die Temperatur der Luft zu verringern bzw. deren Feuchte zu erhöhen oder auch die Strömungsgeschwindigkeit zu verändern, um in geeigneter Weise stetig aktiv auf die Konstanthaltung der klimatischen Bedingungen am Abtragungsort Einfluß nehmen zu können.

15 In Verbindung mit den vorgenannten Maßnahmen zur Konstanthaltung der Umgebungsbedingungen ist außerdem der Luftstrom stets so gerichtet, daß die während der Abtragung entstehenden Abprodukte, wie Rauch und Materialpartikel, vom Luftstrom erfaßt und mit der strömenden Luft vom Abtragungsort entfernt werden, ohne dabei den auf den Abtragungsort gerichteten Laserstrahl zu durchqueren.
20

Es sei ausdrücklich darauf hingewiesen, daß sich die Erfindung nicht auf die Verwendung von Luft als Transportmittel von Wärmeenergie und Feuchtigkeit beschränkt, sondern daß darüber hinaus auch jedes andere geeignete Gas, wie beispielsweise Stickstoff, verwendet werden kann.
25

Das erfindungsgemäße Verfahren ist bevorzugt zur Veränderung der Oberflächenkrümmung von künstlichen Kontaktlinsen geeignet mit dem Ziel, je nach Verstärkung oder Verringerung der Krümmung die Fehlsichtigkeit eines menschlichen Auges zu korrigieren. Dabei besteht ein wesentlicher Vorteil darin, daß die Bearbeitung
30 bei Abwesenheit des späteren Kontaktlinsenträgers erfolgen kann.

Die Erfindung bezieht sich weiterhin auf Anordnungen zum Abtragen von Material, die zur Ausübung der vorgenannten Verfahrensschritte geeignet sind und in der beschriebenen Weise die Bearbeitung sowohl von künstlichen als auch natürlichen
35 Materialien, darunter auch biologischem Gewebe, erlauben. Bei diesen Anordnungen sind Mittel vorgesehen, mit denen während der Einwirkung der Laserenergie ein

Gasstrom über den Abtragungsort hinweg geführt wird, wobei dessen Temperatur, relative Feuchte und/oder Strömungsgeschwindigkeit des über den Abtragungsort hinwegströmenden Gases vorgegeben werden können. Als Gas kommt hier bevorzugt Luft zur Anwendung, jedoch sind auch andere Gase geeignet, wie beispielsweise Stickstoff.

In einer besonders bevorzugten Ausgestaltung sind die Anordnungen ausgestattet mit Mitteln zu Vorauswahl der Temperatur, der relativen Luftfeuchte und/oder der Strömungsgeschwindigkeit aus vorgegebenen Wertebereichen. Die Auswahl kann vor Beginn des Abtragungsprozesses stattfinden, wobei Einrichtungen zum Konstanthalten der vorausgewählten Werte während des gesamten Abtragungsprozesses vorhanden sind.

Weiterhin ist vorgesehen, daß die Mittel bzw. Einrichtungen zur Vorauswahl oder Veränderung der Temperatur, der relativen Luftfeuchte und/oder der Strömungsgeschwindigkeit mit einer Ansteuerschaltung gekoppelt sind, die beispielsweise in Abhängigkeit von Werten, die nach einer Zeitplan-Funktion vorgegeben werden, Stellsignale abgeben. Diese Ansteuerschaltung kann weiterhin mit einer Lufterwärmungseinrichtung und/oder mit einer Luftbefeuchtungseinrichtung gekoppelt sein.

Die Luftbefeuchtungseinrichtung sollte vorteilhaft mit einem Vernebler, bevorzugt mit einem Ultraschallvernebler ausgestattet sein, der Feuchtigkeit mit einer konstanten Tröpfchengröße von $< 4 \mu\text{m}$ abgibt. Dies gilt beispielsweise für die refraktive Laserchirurgie unter Nutzung einer Laserstrahlung der Wellenlänge von 193 nm, wobei die Vernebelungsleistung 0,5 bis 2 ml/min betragen sollte. Damit wird eine im Hinblick auf die benötigte Anfeuchtung und geringste Wasserausscheidung am Operationsort optimierte Nebeldichte erreicht.

Weiterhin sind Mittel vorgesehen, die die Strömungsrichtung des Gases bzw. der Luft derart beeinflussen, daß der Laserstrahlquerschnitt nicht durch Ablationsabprodukte durchquert und dadurch die Strahlungsintensität in undefinierbarer Weise beeinflußt wird. Diesbezüglich sind beispielhaft zwei jeweils ringförmig zentrisch um den Laserstrahl angeordnete Strömungskanäle in Richtung der Laserstrahlung aufeinander folgende vorhanden, von denen einer mit Austrittsöffnungen, der andere mit Eintrittsöffnungen für den Luftstrom ausgestattet sind. Dabei sind die Austrittsöffnungen eines ersten der beiden Strömungskanäle und die Eintrittsöffnungen des anderen Strömungskanals so positioniert, daß der Luftstrom im wesentlichen

parallel zur Laserstrahlung gerichtet ist, bevorzugt mit einer Strömungsrichtung entgegengesetzt zur Richtung der Laserstrahlung.

5 Je nach Anwendungsfall kann es sich weiterhin als vorteilhaft erweisen, wenn die Richtung der zuströmenden Luft mit der Tangente über dem Abtragungsort einen Winkel von 0-70° einschließt und die Eintrittsöffnungen für die Absaugung des Luftstromes vom Abtragungsort so ausgebildet sind, daß die Richtung der abströmenden Luft mit der Tangente über dem Abtragungsort ebenfalls einen Winkel im Bereich zwischen 0° und 70° einschließt.

10 Zur Ermittlung der Feuchtigkeitswerte am Abtragungsort ist beispielsweise eine Streulichtmeßeinrichtung vorgesehen, bei der die Intensität der Reflexion eines gesonderten, auf die Materialoberfläche gerichteten Laserstrahls, dessen Wellenlänge im sichtbaren oder infraroten Spektralbereich liegt, als Maß der Feuchtigkeit an der
15 Oberfläche genutzt wird. Die physikalischen Parameter dieser gesonderten Laserstrahlung, insbesondere Intensität und Wellenlänge, sind dabei in Abhängigkeit von den Eigenschaften des zu bearbeitenden Materials so gewählt, daß keine Veränderung der Materialeigenschaften aufgrund dieser Strahlung eintritt. Zum kontaktfreien Messen der aktuellen Temperaturen an der Materialoberfläche während des Ab-
20 tragungsprozesses kann eine handelsübliche Thermokamera vorgesehen sein.

Kurze Beschreibung der Zeichnungen

25 Die Erfindung soll nachfolgend anhand eines Ausführungsbeispiels näher erläutert werden. In den zugehörigen Zeichnungen zeigen

- Fig.1 eine Anordnung zum Materialabtrag mit Hilfe von Laserstrahlung, bei der ein Laserstrahl auf die Materialoberfläche gerichtet und eine Einrichtung zur Klimatisierung der Umgebung an der Oberfläche zur Zuführung eines klimatisierten Luftstromes vorgesehen ist,
30 Fig.2 ein Beispiel für die Ausgestaltung einer Zu- und Abführeinrichtung für einen klimatisierten Luftstrom zur Materialoberfläche und deren Anordnung in der Nähe des Abtragungsortes,
Fig.3 eine Möglichkeit für die Positionierung von Meßeinrichtungen zur Ermittlung von Temperatur- und Feuchtigkeitswerten aus der Nähe des Ab-
35 tragungsortes.

Fig.4 eine weitere Ausgestaltungsmöglichkeit der Einrichtung zur Zuführung und Abführung eines klimatisierten Luftstromes.

5 **Ausführliche Beschreibung der Zeichnungen**

In Fig.1 ist ein röhrenförmiger Kanal 1 dargestellt, aus dessen Ende ein Laserstrahl 3 austritt und auf die Oberfläche eines Gegenstandes 2 gerichtet ist. Eine solche Anordnung kann beispielsweise zur Veränderung der Krümmung von Kontaktlinsen oder auch zur photorefraktiven Keratektomie genutzt werden, bei der die Krümmung der Hornhaut eines menschlichen Auges unter Einwirkung der Laserstrahlung gezielt durch Abtrag des biologischen Gewebes der Hornhaut korrigiert wird.

Es sei angenommen, daß während der Dauer des Ablationsprozesses ein Leistungseintrag in das Gewebe von ca. 0,5 Watt erfolgt. Dabei wird ein Großteil der Leistung für die Ablation verbraucht, ein nicht unerheblicher Teil jedoch wird in unerwünschte thermische, akustische und Fluoreszenzenergie umgewandelt. Dabei würden vor allem die thermischen Verlustanteile die Abtragsbedingungen stören, da hierdurch der Tränenfilm, also die Feuchtigkeit auf der Hornhaut sowie die Hydratationseigenschaften der Hornhaut selbst beeinflußt werden.

Um eine definierte Abtragsrate und damit die Möglichkeit einer definierten Formgebung der Hornhautoberfläche erzielen zu können, soll der Aufgabe der Erfindung entsprechend der unerwünschte Einfluß auf die Ablationsbedingungen verringert bzw. nach Möglichkeit ganz aufgehoben werden, indem die klimatischen Umgebungsbedingungen konstant gehalten werden.

Erfindungsgemäß ist diesbezüglich ein röhrenförmiger Kanal 4 vorgesehen, der über einen Anschlußstutzen 5 und eine hieran angeschlossene (nicht dargestellte) Verbindungsleitung mit einer Luftfördereinrichtung (ebenfalls nicht dargestellt) in Verbindung steht.

Die Luftfördereinrichtung sorgt dafür, daß dem röhrenförmigen Strömungskanal 4 Luft zugeführt wird, die durch Austrittsöffnungen 6 aus dem Strömungskanal 4 austritt.

Dabei sind die Austrittsöffnungen 6 so angeordnet, daß die Strömungsrichtungen 7 der austretenden Luft, mit dem Laserstrahl 3 einem spitzen Winkel einschließend, zur Oberfläche des Gegenstandes 2 hin gerichtet sind.

- 5 Der Strömungskanal 4 ist ringförmig gekrümmt und zentrisch um den Laserstrahl 3 angeordnet, während die Austrittsöffnungen 6 radialsymmetrisch um den Laserstrahl verteilt positioniert sind, so daß die Strömungsrichtungen 7 in ihrer Gesamtheit etwa einen Kreiskegelmantel bilden, in dessen Zentrum der Laserstrahl 3 verläuft.

10

Der Abstand des Strömungskanals 4 zum Gegenstand 2 ist so bemessen, daß die Spitze dieses Kreiskegelmantels etwa mit dem Auftreffort des Laserstrahles 3 auf dem Gegenstand 2 zusammenfällt.

- 15 Damit wird erreicht, daß Strömungsrichtungen 7 etwa am Auftreffort des Laserstrahles 3 auf der Gegenstand 2 aufeinandertreffen und sich dabei gegenseitig so beeinflussen, daß sich die Strömungsrichtungen 7 umkehren und die strömende Luft radial nach außen abgeführt wird. Das hat zur Folge, daß Ablationsabprodukte wie Rauch und ablatierte Gewebepartikel vom Luftstrom erfaßt und mit der Luft in
- 20 radialer Richtung abtransportiert werden.

Damit wird weitestgehend erreicht, daß die Ablationsprodukte den Laserstrahl 3 nicht durchqueren und so auch die Laserstrahlungsintensität nicht beeinträchtigen können.

25

Außerdem ist erfindungsgemäß vorgesehen, daß die Luftfördereinrichtung mit einer Klimatisierungseinrichtung für die zum Strömungskanal 4 geleitete Luft gekoppelt ist. Die Klimatisierungseinrichtung ist so ausgebildet, daß Temperatur und relative Feuchte der Luft beeinflußt werden können. Außerdem sind Mittel vorhanden, mit

30 denen die Temperaturwerte, Werte für die relative Luftfeuchte sowie auch Werte für die je Zeiteinheit geförderte Luftmenge vor Beginn des Ablationsprozesses voreingestellt werden können. Diesbezüglich ist sowohl die Luftfördereinrichtung als auch die Klimatisierungseinrichtung mit Mitteln zur Befehlseingabe, beispielsweise Tastern, Schaltern oder Drehgebern ausgestattet, die Teil einer Ansteuerung sind.

- 35 Derartige Einrichtungen zur Luftförderung und zur Klimatisierung der Luft sowie entsprechende Eingabemittel sind aus dem Stand der Technik bekannt und müssen deshalb hier nicht näher erläutert werden.

Ist beispielsweise als Quelle für die Laserstrahlung ein Excimer-Laser, vorzugsweise des Typs MEL 70 G-Scan, vorgesehen, der die sehr sensible Laserstrahlung mit einer Wellenlänge von 193 nm abgibt, so kann erfindungsgemäß durch Vorauswahl einer
5 Temperatur von 37°C, einer relativen Luftfeuchte von etwa 100% und einer Strömungsgeschwindigkeit von etwa 0,5m/s dafür gesorgt werden, daß die klimatischen Umgebungsbedingungen um den Abtragungsort während des Ablationsprozesses in verhältnismäßig engen Grenzen konstant bleiben. Damit wird auch eine verhältnismäßig konstante Abtragungsrate gewährleistet, womit die erforderliche Präzision
10 bei der Formgebung weitestgehend erreicht ist.

Zusätzlich können sowohl die Luftfördereinrichtungen als auch die Klimatisierungseinrichtungen noch mit Mitteln zur Konstanthaltung der vorgewählten Werte ausgestattet sein. Derartige Einrichtungen, die sowohl die Temperatur, die Luftfeuchte als
15 auch die Strömungsgeschwindigkeit von Luft konstant halten, sind ebenfalls aus dem Stand der Technik bekannt und werden deshalb hier nicht näher erläutert.

In einem in Fig.2 dargestellten Ausgestaltungsbeispiel der erfindungsgemäßen Anordnung ist neben dem röhrenförmigen Strömungskanal 4 ein weiterer röhrenförmiger Strömungskanal 8 vorgesehen, der ebenso wie der Strömungskanal 4 ringförmig um den Laserstrahl 3 angeordnet ist, der sich jedoch in einer größeren Entfernung als der Strömungskanal 4 von dem Gegenstand 2 befindet und im Gegensatz zum Strömungskanal 4 nicht mit einer Luftfördereinrichtung zur Zuführung von Luft, sondern mit einer Absaugeinrichtung (zeichnerisch nicht dargestellt) verbunden ist, die über eine Schlauchleitung (ebenfalls zeichnerisch nicht dargestellt) und einen Anschlußstutzen 9 mit dem Strömungskanal 8 in Verbindung steht.
20
25

Der Strömungskanal 8 verfügt über Eintrittsöffnungen 10, die im wesentlichen in gleicher Ordnung wie die Austrittsöffnungen 6 am Strömungskanal 4 positioniert
30 sind.

Beim Betreiben dieser Anordnung entsteht rings um den Laserstrahl 3 eine Luftströmung, die zunächst aus den Austrittsöffnungen 6 des Strömungskanals 4 zum Gegenstand 2 und danach vom Gegenstand 2 zu den Einströmöffnungen 10 des Strömungskanals 8 hingerichtet ist.
35

- Im Gegensatz zur Ausgestaltungsvariante nach Fig.1 wird mit dieser Anordnung dafür gesorgt, daß die Ablationsabprodukte nicht radial vom Laserstrahl 3 nach außen abtransportiert werden, sondern (etwa in entgegengesetzter Richtung zum Laserstrahl 3) durch die Eintrittsöffnungen 10 hindurch in den Strömungskanal 8 hinein und von dort zur Absaugeinrichtung abtransportiert werden. Dies hat zur Folge, daß die Ablationsabprodukte (Rauch, Gewebepartikel) den Laserstrahl 3 nicht durchqueren können und außerdem auch nicht die Umgebung des Ablationsortes verunreinigen bzw. zu Geruchsbelästigungen für die bearbeitende Person führen.
- 5
- 10 Hierbei ist vorgesehen, daß die Luft mit vorgegebener, konstant gehaltener Temperatur, relativen Feuchte und Strömungsgeschwindigkeit aus den Ausströmöffnungen 6 austritt und auf diese Weise für definierte klimatische Bedingungen an dem Gegenstand 2 sorgt.
- 15 Dagegen kann in einer weiteren Ausgestaltung der Anordnung vorgesehen sein, daß die Temperatur- und Feuchtigkeitswerte der Luft sowie deren Strömungsgeschwindigkeit während des Abtragungsprozesses nicht konstant gehalten werden, sondern daß Meßwertaufnehmer zur Erfassung von Temperatur- und Feuchtigkeitswerten aus unmittelbarer Nähe des Abtragungsortes vorhanden und über eine Ansteuerung mit
- 20 der Luftfördereinrichtung und der Klimatisierungseinrichtung in Verbindung stehen.
- Damit ist es möglich, auf aktuelle Veränderungen der klimatischen Umgebungsbedingungen sehr schnell zu reagieren, indem auf Grundlage der ermittelten Werte die Erhöhung oder Verringerung der Temperatur der strömenden Luft oder auch deren
- 25 relativer Feuchte veranlaßt wird, um damit in noch engeren Grenzen der Auswirkung der thermischen Verlustleistung entgegenwirken zu können.
- Beispiele für die Anordnung solcher Meßwertgeber sind in Fig.3 dargestellt. Hier ist beispielsweise zum Messen der Feuchtigkeitswerte am Abtragungsort eine Streulichtmeßeinrichtung vorgesehen, bestehend aus einer Laserdiode 11, die Licht im sichtbaren oder infraroten Spektralbereich auf den Gegenstand 2 richtet, und aus einem Fotodetektor 12, der die Reflexion des von der Laserdiode 11 ausgesendeten Laserstrahlung empfängt und dessen Ausgangssignale ein Maß für die Feuchtigkeit an der Hornhautoberfläche sind.
- 30
- 35 Über einen Signalweg 13 steht die Fotodiode 12 über eine Auswerte- und Ansteuerungsschaltung (nicht dargestellt) mit der Klimatisierungseinrichtung in Verbindung. Die

reflektierte gestreute Intensität der von der Fotodiode 11 ausgehenden Laserstrahlung wird wesentlich davon bestimmt, ob sich noch ein Feuchtigkeitsfilm auf der Hornhaut-oberfläche befindet bzw. wie weit bereits eine Austrocknung erfolgt ist.

- 5 Zur Gewinnung von Temperaturwerten aus der unmittelbaren Nähe des Abtragungsortes kann eine handelsübliche Temperaturfernmeßeinrichtung, etwa eine Thermokamera, verwendet und mit ihrer Meßrichtung so ausgerichtet werden, daß damit die Temperaturwerte vom Abtragungsort erfaßt und über einen Signalweg 14 an die Auswerte- und Ansteuerschaltung weitergegeben werden, die mit der Klima-
10 tisierungseinrichtung in Verbindung steht.

- Mit der vorliegenden Erfindung wird erreicht, daß mit einer kompakten Anordnung in der unmittelbaren Nähe des Behandlungsortes, beispielsweise des zu behandelnden Auges bei der photorefraktiven Keratektomie, neben der Absaugung der Ablationsabprodukte eine definierte Temperatur und Luftfeuchte eingestellt werden kann
15 und damit bewirkt wird, daß die Abtragungseigenschaften des Hornhautgewebes konstant gehalten werden. Wie ausführlich dargelegt, erfolgt die Einstellung des stationären Gleichgewichtes von Luftfeuchte und Temperatur während der Laserbehandlung durch gezielte Zu- und Abfuhr temperierter, befeuchteter Luft bei definierter Strömungsgeschwindigkeit in der unmittelbaren Nähe des Behandlungsortes.
20

- Mit einer bevorzugten Ausgestaltung wird mit gesättigter Luft, die etwa auf Körpertemperatur erwärmt ist, und einer verhältnismäßig geringen Strömungsgeschwindigkeit von etwa 0,5 m/s über den gesamten Verlauf des Ablationsprozesses hinweg gearbeitet. Ein zu Beginn des Abtragungsprozesses noch auf den Gegenstand 2
25 vorhandener Feuchtigkeitsfilm bedingt eine zunächst geringe Ablationsrate. Da aber während des Ablationsprozesses thermische Energie frei wird, führt diese dazu, daß der Feuchtigkeitsfilm zunehmend austrocknet und sich die Ablationsrate dadurch erhöht. Dem wird in der beschriebenen Art und Weise entgegengewirkt.

- 30 Bei der Arbeit mit einem Excimer-Laser als Strahlungsquelle für die Wellenlänge von 193 nm ist zu beachten, daß die Absorption für diese Wellenlänge in Wasser deutlich höher ist als in Luft bzw. einem anderen Spülgas, wie beispielsweise etwa Stickstoff. Daraus wird deutlich, daß es erforderlich ist, der Austrocknung entgegenzuwirken, um zu konstanten Abtragsbedingungen zu kommen. Insofern gelingt es
35 mit der erfindungsgemäßen Anordnung, stets ein Temperatur- und Feuchtigkeitsgleichgewicht zwischen dem Gegenstand (Kontaktlinse oder Hornhaut) und klimati-

sierter Umgebung an dessen Oberfläche einzustellen. Störgrößen wie ein anfänglich stärker vorhandener Feuchtigkeitsfilm sowie die mit dem Energieeintrag zunehmende Austrocknung werden mit den erfindungsgemäß vorgeschlagenen Mitteln ausgeglichen.

5

Fig.4 zeigt eine weitere Ausgestaltungsmöglichkeit hinsichtlich der Zuführung und Abführung eines klimatisierten Luftstromes 7 zur bzw. von der Oberfläche des Gegenstandes 2. Wie aus Fig.4 hervorgeht, weist das dem Gegenstand 2 zugewandte Ende des röhrenförmigen Kanals 1 einen konisch verlaufenden Abschnitt 16 mit zwei den Laserstrahl 3 konzentrisch umschließenden Kammern 17 und 18 auf. Die Kammer 17, die in eine ringförmige Ausströmöffnung 19 mündet, steht mit einer Luftklimatisierungs- und -fördereinrichtung (zeichnerisch nicht dargestellt) in Verbindung, die der Erzeugung eines Überdrucks aus klimatisierter Luft in der Kammer 17 dient. Die ringförmige Ausströmöffnung 19 ist so gestaltet, daß der aufgrund des Überdrucks austretende klimatisierte Luftstrom 7 auf die Oberfläche des Gegenstandes 2 gerichtet ist, wo er reflektiert wird.

Die Kammer 18 ist mit einer Absaugeinrichtung (zeichnerisch nicht dargestellt) verbunden, die einen Unterdruck erzeugt, und sie weist eine ringförmige Einströmöffnung 20 auf, durch welche der von der Oberfläche des Gegenstandes 2 reflektierte Luftstrom 7 in die Kammer 18 hineingesaugt und zur Absaugeinrichtung abtransportiert wird.

Zur Verbindung der Kammer 17 mit der Luftklimatisierungs- und -fördereinrichtung und zur Verbindung der Kammer 18 mit der Absaugeinrichtung können jeweils Schlauchleitungen vorgesehen sein, die über Anschlußstutzen anzuschließen sind. Als Luftklimatisierungs- und -fördereinrichtung und als Absaugeinrichtung sind handelsübliche Baugruppen nutzbar, so daß eine nähere Erläuterung hier entfallen kann.

30

Mit der Ausgestaltung nach Fig.4 wird ebenfalls wie schon mit der Anordnung nach Fig.2 erreicht, daß die Ablationsprodukte abgesaugt werden, ohne daß diese den Laserstrahl 3 durchqueren und so die Intensität der Laserstrahlung beeinträchtigen können. Die Oberfläche des Gegenstandes 2 kann aufgrund des klimatisierten Luftstromes 7 nicht austrocknen, wodurch gleichbleibende Abtragungsbedingungen gewährleistet sind.

35

Patentansprüche

- 5 1. Verfahren zum Abtragen von Material mit Hilfe von Laserstrahlung, bei dem die Temperatur und/oder die Feuchtigkeit des Gewebes am Abtragungsort und/oder in dessen unmittelbarer Nähe während der Dauer des Abtragungsprozesses mittels eines über den Abtragungsort hinweg geführten Gasstromes im wesentlichen konstant gehalten wird.
- 10 2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß ein Luftstrom mit konstanter Temperatur, konstantem Feuchtigkeitsgehalt und konstanter Strömungsgeschwindigkeit über den Abtragungsort hinweg geführt wird.
- 15 3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß der Luftstrom mit einer Temperatur von etwa 37°C, einer relativen Luftfeuchte von etwa 100% und einer Strömungsgeschwindigkeit von etwa 0,5 m/s über den Abtragungsort hinweg geführt wird.
- 20 4. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß der Luftstrom mit einer Temperatur im Bereich von -20°C bis 30°C, bevorzugt mit -8°C, einer relativen Luftfeuchte im Bereich von 0% bis 100%, bevorzugt mit 80%, und einer Strömungsgeschwindigkeit im Bereich von 1 m/s bis 10 m/s, bevorzugt mit 3 m/s, über den Abtragungsort hinweg geführt wird.
- 25 5. Verfahren nach einem der vorgenannten Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Luftstrom hinsichtlich Strömungsgeschwindigkeit und Luftmenge in Abhängigkeit von der Impulsfolgefrequenz der Laserstrahlung so vorgegeben wird, daß das während einer Impulsfolge abladierte Gewebe innerhalb des
- 30 Zeitraumes bis zum Beginn der nächsten Impulsfolge mit dem Luftstrom abtransportiert wird, wobei bevorzugt bei einer Impulsfolgefrequenz von 1 kHz und einer am Abtragungsort bearbeiteten Fläche von 8 mm² eine Strömungsgeschwindigkeit von etwa 8 m/s und eine Luftmenge von etwa 40 cm³/s vorgegeben werden.
- 35 6. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß ein Luftstrom mit konstanter Temperatur und konstantem Feuchtigkeitsgehalt, jedoch während

des Abtragungsprozesses zunehmender Strömungsgeschwindigkeit über den Abtragungsort hinweg geführt wird.

- 5 7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß der Luftstrom mit einer Temperatur von etwa 37°C, einer relativen Luftfeuchte von etwa 100% und einer mit der Abtragung bei 0,2 m/s beginnenden und bis zum Ende der Abtragung auf 10 m/s anwachsenden Strömungsgeschwindigkeit über den Abtragungsort hinweg geführt wird.
- 10 8. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß ein Luftstrom mit konstanter Strömungsgeschwindigkeit über den Abtragungsort hinweg geführt und während des Abtragungsprozesses die Temperatur der strömenden Luft erhöht und/oder ihre relative Luftfeuchte verringert wird.
- 15 9. Verfahren nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß der Luftstrom mit einer Strömungsgeschwindigkeit von etwa 0,5 m/s, einer von 10°C bis 42°C anwachsenden Temperatur und einer von 100% bis 10% verringerten relativen Luftfeuchte über den Abtragungsort hinweg geführt wird.
- 20 10. Verfahren nach einem der vorgenannten Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Veränderung der Temperatur, der relativen Luftfeuchte und/oder der Strömungsgeschwindigkeit nach einer vorgegebenen Zeitplanfunktion erfolgt.
- 25 11. Verfahren nach einem der vorgenannten Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Veränderung der Temperatur, der relativen Luftfeuchte und/oder der Strömungsgeschwindigkeit in Abhängigkeit von Temperatur- und/oder Feuchtigkeitswerten vorgenommen werden, die während des Abtragungsprozesses unmittelbar am oder nahe dem Abtragungsort gemessen werden.
- 30 12. Verfahren nach einem der vorgenannten Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Gas- bzw. Luftstrom in einer solchen Richtung über den Abtragungsort hinweg geführt wird, daß die während der Abtragung entstehenden Abprodukte, wie Rauch und Gewebepartikel, von diesem Strom erfaßt und vom Behandlungsort entfernt werden, ohne dabei den auf den Abtragungsort ge-
35 richteten Laserstrahl zu durchqueren.

13. Anordnung zum Abtragen von Material mit Hilfe von Laserstrahlung von der Oberfläche eines Gegenstandes, wobei
- während der Dauer des Abtragungsprozesses ein Luftstrom über den Abtragungsort hinweg geführt wird und
 - 5 - Mittel zur Beeinflussung der Temperatur, der relativen Luftfeuchte und/oder der Strömungsgeschwindigkeit der über den Abtragungsort hinweg strömenden Luft vorgesehen sind.
14. Anordnung nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, daß Mittel zur Vor-
10 auswahl der Temperatur, der relativen Luftfeuchte und/oder der Strömungsgeschwindigkeit aus vorgegebenen Wertebereichen vor Beginn des Abtragungsprozesses vorgesehen sind und Einrichtungen zum Konstanthalten der vorausgewählten Werte während des Abtragungsprozesses vorhanden sind.
15. 15. Anordnung nach Anspruch 13 oder 14, dadurch gekennzeichnet, daß die Einrichtungen zum Konstanthalten der Temperatur bei etwa 37°C, der relativen Luftfeuchte bei etwa 100% und der Strömungsgeschwindigkeit bei etwa 0,5 m/s ausgebildet sind.
- 20 16. Anordnung nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, daß Einrichtungen zum Verändern der Temperatur, der relativen Luftfeuchte und/oder der Strömungsgeschwindigkeit der über den Abtragungsort hinweg strömenden Luft während des Abtragungsprozesses innerhalb vorgegebener Wertebereiche vorgesehen sind.
- 25 17. Anordnung nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, daß die Einrichtungen mit Ansteuerschaltungen gekoppelt sind, durch die Veränderungen von Temperatur, relativer Luftfeuchte und/oder Strömungsgeschwindigkeit während des Abtragungsprozesses anhand vorgegebener Zeitplan-Funktionen
30 veranlaßt werden.
18. Anordnung nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, daß Meßwertauf-
35 nehmer zur Messung von Temperatur- und/oder Feuchtigkeitswerten aus der unmittelbaren Umgebung des Abtragungsortes vorgesehen und über Auswerteeinrichtungen mit Ansteuerschaltungen verknüpft sind, durch die Veränderungen von Temperatur, relativer Luftfeuchte und/oder Strömungsgeschwindigkeit in Abhängigkeit von den gemessenen Werten veranlaßt werden.

19. Anordnung nach einem der Ansprüche 16 bis 18, dadurch gekennzeichnet, daß Veränderungen der Temperatur im Wertebereich von 10°C bis 42°C, der relativen Luftfeuchte im Wertebereich von 100% bis 10% und/oder der Strömungsgeschwindigkeit im Wertebereich von 0,2 m/s bis 10 m/s im Verlaufe des Abtragungsprozesses vorgesehen sind.
20. Anordnung nach einem der Ansprüche 13 bis 19, dadurch gekennzeichnet, daß eine mit einer Ansteuerschaltung gekoppelte Lufterwärmungseinrichtung vorhanden ist.
21. Anordnung nach einem der Ansprüche 13 bis 20, dadurch gekennzeichnet, daß eine mit einer Ansteuerschaltung gekoppelte Luftbefeuchtungseinrichtung vorhanden ist.
22. Anordnung nach Anspruch 21, dadurch gekennzeichnet, daß die Luftbefeuchtungseinrichtung mit einem Vernebler, bevorzugt einem Ultraschallvernebler ausgestattet ist, der 0,5 ml bis 2 ml Wasser pro Minute vernebelt bei einer Tröpfengröße von <4 µm.
23. Anordnung nach einem der Ansprüche 13 bis 22, dadurch gekennzeichnet, daß eine mit einer Ansteuerschaltung gekoppelte Luftfördereinrichtung vorhanden ist.
24. Anordnung nach Anspruch 23, dadurch gekennzeichnet, daß die Luftförderung und die Vorgabe der Strömungsrichtung bewirkt wird durch zwei in Richtung des Laserstrahles (3) aufeinander folgende, ringförmig zentrisch um den Laserstrahl angeordnete Strömungskanäle (4, 8), von denen einer mit Austrittsöffnungen (6), der andere mit Eintrittsöffnungen (10) für den Luftstrom versehen ist.
25. Anordnung nach Anspruch 24, dadurch gekennzeichnet, daß die Austrittsöffnungen (6) so positioniert sind, daß der Luftstrom entgegengesetzt zur Laserstrahlung gerichtet ist.
26. Anordnung nach Anspruch 18, dadurch gekennzeichnet, daß zum Messen von Feuchtigkeitswerten eine Streulichtmeßeinrichtung vorgesehen ist, bei der die

Intensität der Reflexion eines Laserstrahls mit Wellenlängen im sichtbaren oder infraroten Spektralbereich an der Materialoberfläche als Maß der Feuchtigkeit an der Materialoberfläche genutzt wird.

- 5 27. Anordnung nach Anspruch 18, dadurch gekennzeichnet, daß zum kontaktfreien Messen der aktuellen Temperaturen an der Materialoberfläche eine Thermokamera (14) vorgesehen ist.
- 10 28. Anordnung nach einem der Ansprüche 13 bis 27, dadurch gekennzeichnet, daß die Richtung der zuströmenden Luft mit der Tangente über dem Abtragungsort einen Winkel von 0° bis 70° einschließt.
- 15 29. Anordnung nach einem der Ansprüche 13 bis 28, dadurch gekennzeichnet, daß eine Absaugeinrichtung für die auf den Abtragungsort gerichtete Luft vorhanden ist, bei der die Richtung der abströmenden Luft mit der Tangente über dem Abtragungsort einen Winkel von 0° bis 70° einschließt.
- 20 30. Verwendung der Anordnung nach den Ansprüchen 13 bis 29 zum Abtragen von biologischem Gewebe, insbesondere zum Abtragen von Hornhautgewebe bei der photorefraktiven Keratektomie am menschlichen Auge mittels einer von einem Excimer-Laser ausgehenden Strahlung mit der Wellenlänge von 193 nm.

1/4

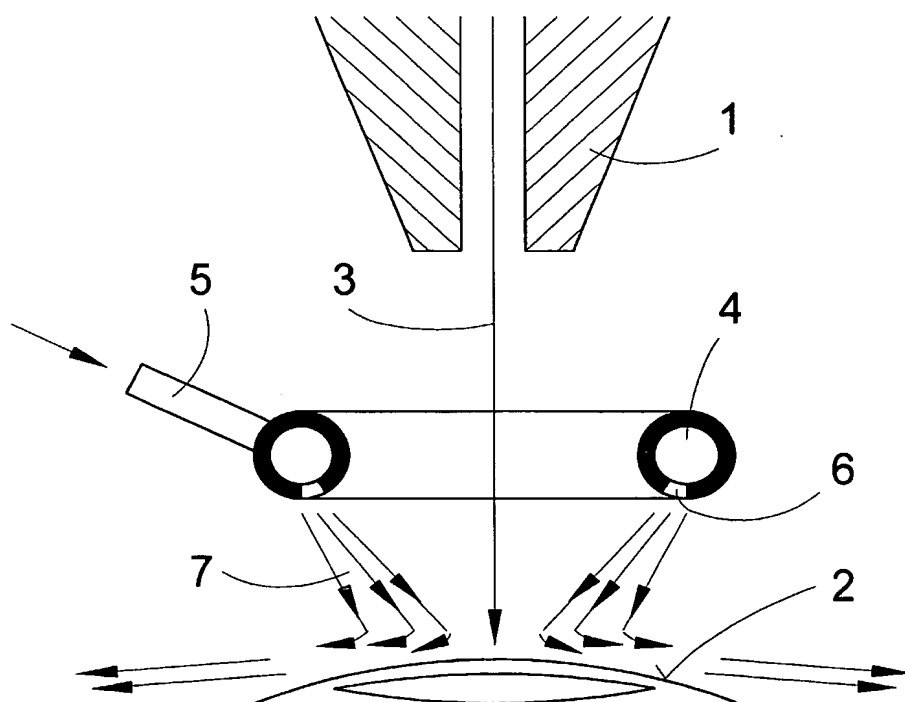


Fig.1

2/4

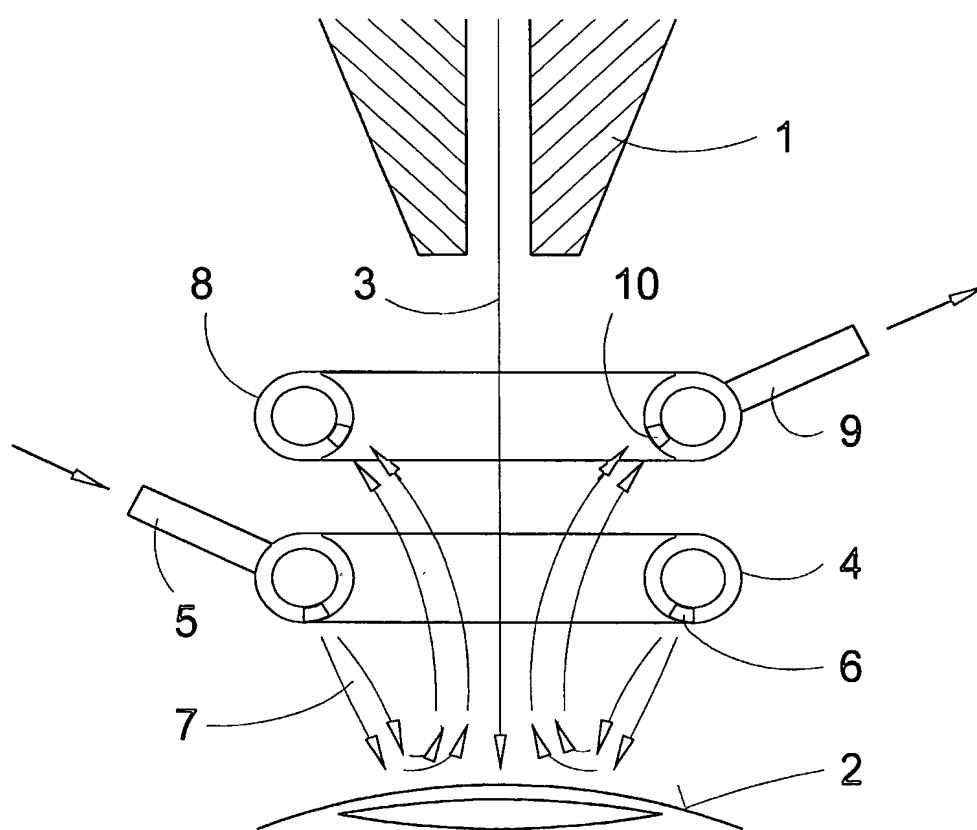


Fig.2

3/4

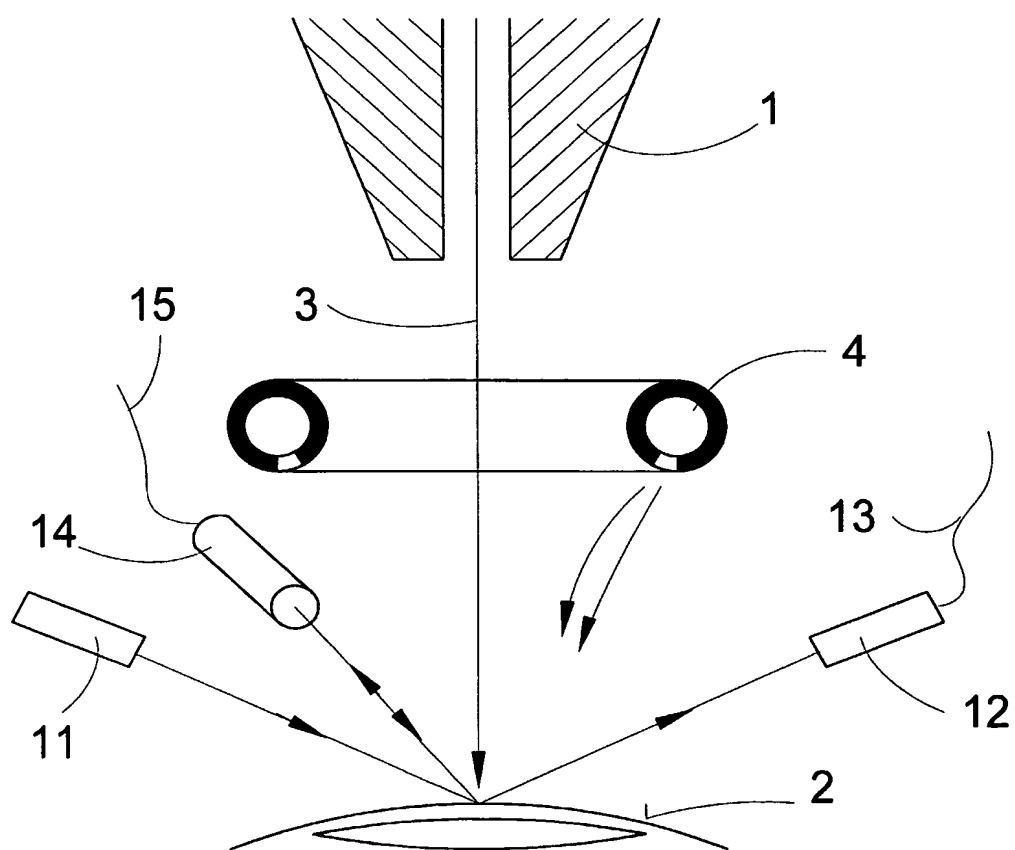


Fig.3

4/4

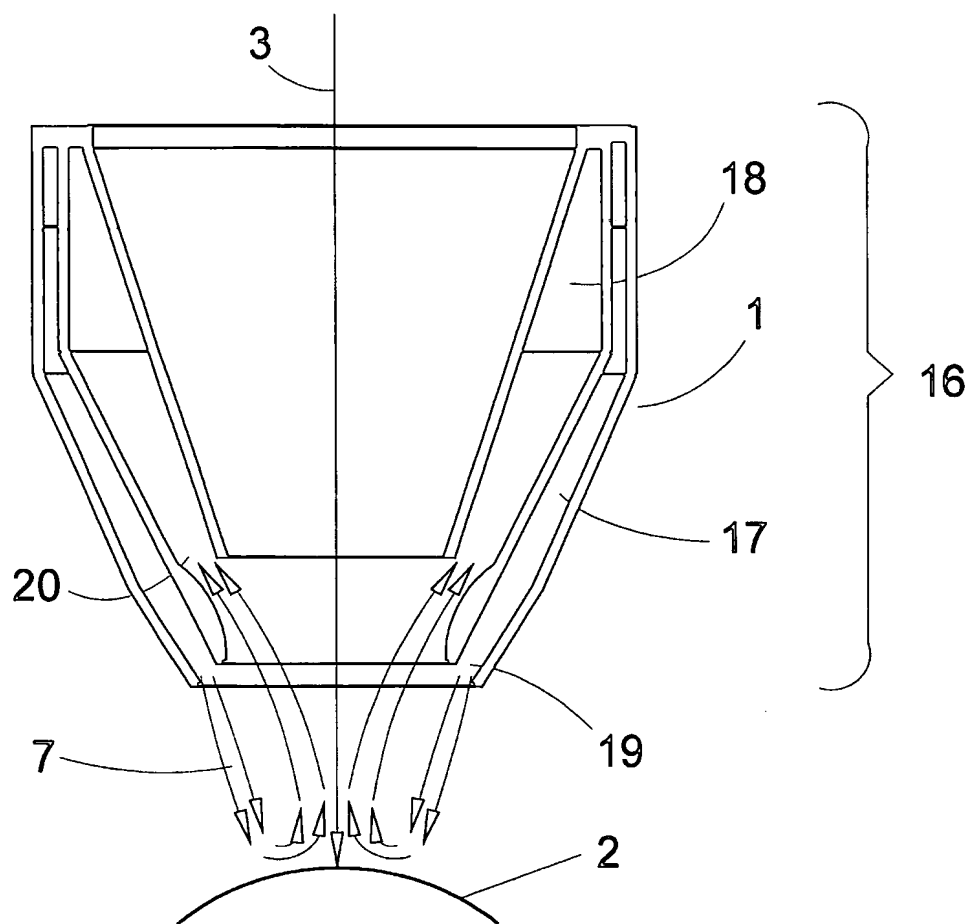


Fig.4

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No
PCT/EP 02/06151

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER IPC 7 A61B18/00		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) IPC 7 A61B		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used) EPO-Internal, WPI Data, PAJ		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	WO 98 57588 A (COOL LASER OPTICS INC) 23 December 1998 (1998-12-23) page 5, line 19 - line 25 page 6, line 30 -page 7, line 7; figure 1 ---	13-17, 19,20,23
X	WO 00 33912 A (NEEV JOSEPH) 15 June 2000 (2000-06-15) page 20, line 26 -page 21, line 39; figure 3 ---	13-23, 27,29
A	DE 100 20 522 A (ASCLEPION MEDITEC AG) 21 December 2000 (2000-12-21) abstract; figure 1 ---	24,25
A	US 4 850 352 A (JOHNSON GERALD W) 25 July 1989 (1989-07-25) column 3, line 67 -column 4, line 12 column 4, line 52 - line 60; figure 4 -----	24,25
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of box C. <input checked="" type="checkbox"/> Patent family members are listed in annex.		
* Special categories of cited documents : "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier document but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed "I" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art. "&" document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search 3 October 2002		Date of mailing of the international search report 10/10/2002
Name and mailing address of the ISA European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl, Fax: (+31-70) 340-3016		Authorized officer Mayer, E

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/EP02/06151**Box I Observations where certain claims were found unsearchable (Continuation of item 1 of first sheet)**

This international search report has not been established in respect of certain claims under Article 17(2)(a) for the following reasons:

1. ☒ Claims Nos.: 1-12, 30
because they relate to subject matter not required to be searched by this Authority, namely:

PCT Rule 39.1 (iv) - method for treatment of the human or animal body by surgery

2. ☐ Claims Nos.:
because they relate to parts of the international application that do not comply with the prescribed requirements to such an extent that no meaningful international search can be carried out, specifically:

3. ☐ Claims Nos.:
because they are dependent claims and are not drafted in accordance with the second and third sentences of Rule 6.4(a).

Box II Observations where unity of invention is lacking (Continuation of item 2 of first sheet)

This International Searching Authority found multiple inventions in this international application, as follows:

1. ☐ As all required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers all searchable claims.
2. ☐ As all searchable claims could be searched without effort justifying an additional fee, this Authority did not invite payment of any additional fee.
3. ☐ As only some of the required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers only those claims for which fees were paid, specifically claims Nos.:
4. ☐ No required additional search fees were timely paid by the applicant. Consequently, this international search report is restricted to the invention first mentioned in the claims; it is covered by claims Nos.:

Remark on Protest

- ☐ The additional search fees were accompanied by the applicant's protest.
- ☐ No protest accompanied the payment of additional search fees.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No
PCT/EP 02/06151


Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
WO 9857588	A	23-12-1998	AU 8149198 A EP 0998229 A1 WO 9857588 A1 US 2001018603 A1	04-01-1999 10-05-2000 23-12-1998 30-08-2001
WO 0033912	A	15-06-2000	AU 2041900 A EP 1139898 A2 WO 0033912 A2 US 6402739 B1	26-06-2000 10-10-2001 15-06-2000 11-06-2002
DE 10020522	A	21-12-2000	DE 10020522 A1 AU 5528500 A WO 0074581 A1 EP 1182979 A1	21-12-2000 28-12-2000 14-12-2000 06-03-2002
US 4850352	A	25-07-1989	US 4719914 A	19-01-1988

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

nationales Aktenzeichen
PCT/EP 02/06151

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES IPK 7 A61B18/00		
Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK		
B. RECHERCHIERTE GEBIETE		
Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole) IPK 7 A61B		
Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen		
Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe) EPO-Internal, WPI Data, PAJ		
C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Beitr. Anspruch Nr.
X	WO 98 57588 A (COOL LASER OPTICS INC) 23. Dezember 1998 (1998-12-23) Seite 5, Zeile 19 - Zeile 25 Seite 6, Zeile 30 -Seite 7, Zeile 7; Abbildung 1 ---	13-17, 19,20,23
X	WO 00 33912 A (NEEV JOSEPH) 15. Juni 2000 (2000-06-15) Seite 20, Zeile 26 -Seite 21, Zeile 39; Abbildung 3 ---	13-23, 27,29
A	DE 100 20 522 A (ASCLEPION MEDITEC AG) 21. Dezember 2000 (2000-12-21) Zusammenfassung; Abbildung 1 ---	24,25
-/--		
<input checked="" type="checkbox"/> Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen <input checked="" type="checkbox"/> Siehe Anhang Patentfamilie		
* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen : *A* Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist *E* älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist *L* Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt) *O* Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht *P* Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist *T* Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist *X* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden *Y* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist *G* Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist		
Datum des Abschlusses der Internationalen Recherche 3. Oktober 2002		Absenddatum des internationalen Recherchenberichts 10/10/2002
Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl, Fax: (+31-70) 340-3016		Bevollmächtigter Bediensteter Mayer, E

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

ationales Aktenzeichen
PCT/EP 02/06151

C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	US 4 850 352 A (JOHNSON GERALD W) 25. Juli 1989 (1989-07-25) Spalte 3, Zeile 67 - Spalte 4, Zeile 12 Spalte 4, Zeile 52 - Zeile 60; Abbildung 4 -----	24,25

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

internationales Aktenzeichen
PCT/EP 02/06151

Feld I Bemerkungen zu den Ansprüchen, die sich als nicht recherchierbar erwiesen haben (Fortsetzung von Punkt 2 auf Blatt

Gemäß Artikel 17(2)a) wurde aus folgenden Gründen für bestimmte Ansprüche kein Recherchenbericht erstellt:

1. ☒ Ansprüche Nr. 1-12, 30
weil sie sich auf Gegenstände beziehen, zu deren Recherche die Behörde nicht verpflichtet ist, nämlich
Regel 39.1(iv) PCT - Verfahren zur chirurgischen Behandlung des menschlichen oder tierischen Körpers
2. ☐ Ansprüche Nr.
weil sie sich auf Teile der internationalen Anmeldung beziehen, die den vorgeschriebenen Anforderungen so wenig entsprechen, daß eine sinnvolle internationale Recherche nicht durchgeführt werden kann, nämlich
3. ☐ Ansprüche Nr.
weil es sich dabei um abhängige Ansprüche handelt, die nicht entsprechend Satz 2 und 3 der Regel 6.4 a) abgefaßt sind.

Feld II Bemerkungen bei mangelnder Einheitlichkeit der Erfindung (Fortsetzung von Punkt 3 auf Blatt 1)

Die internationale Recherchenbehörde hat festgestellt, daß diese internationale Anmeldung mehrere Erfindungen enthält:

1. ☐ Da der Anmelder alle erforderlichen zusätzlichen Recherchegebühren rechtzeitig entrichtet hat, erstreckt sich dieser internationale Recherchenbericht auf alle recherchierbaren Ansprüche.
2. ☐ Da für alle recherchierbaren Ansprüche die Recherche ohne einen Arbeitsaufwand durchgeführt werden konnte, der eine zusätzliche Recherchegebühr gerechtfertigt hätte, hat die Behörde nicht zur Zahlung einer solchen Gebühr aufgefordert.
3. ☐ Da der Anmelder nur einige der erforderlichen zusätzlichen Recherchegebühren rechtzeitig entrichtet hat, erstreckt sich dieser internationale Recherchenbericht nur auf die Ansprüche, für die Gebühren entrichtet worden sind, nämlich auf die Ansprüche Nr.
4. ☐ Der Anmelder hat die erforderlichen zusätzlichen Recherchegebühren nicht rechtzeitig entrichtet. Der internationale Recherchenbericht beschränkt sich daher auf die in den Ansprüchen zuerst erwähnte Erfindung; diese ist in folgenden Ansprüchen erfaßt:

Bemerkungen hinsichtlich eines Widerspruchs

- ☐ Die zusätzlichen Gebühren wurden vom Anmelder unter Widerspruch gezahlt.
- ☐ Die Zahlung zusätzlicher Recherchegebühren erfolgte ohne Widerspruch.

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP 02/06151

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
WO 9857588 A	23-12-1998	AU 8149198 A	04-01-1999
		EP 0998229 A1	10-05-2000
		WO 9857588 A1	23-12-1998
		US 2001018603 A1	30-08-2001
WO 0033912 A	15-06-2000	AU 2041900 A	26-06-2000
		EP 1139898 A2	10-10-2001
		WO 0033912 A2	15-06-2000
		US 6402739 B1	11-06-2002
DE 10020522 A	21-12-2000	DE 10020522 A1	21-12-2000
		AU 5528500 A	28-12-2000
		WO 0074581 A1	14-12-2000
		EP 1182979 A1	06-03-2002
US 4850352 A	25-07-1989	US 4719914 A	19-01-1988